

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-003720

(43)Date of publication of application : 09.01.1996

(51)Int.Cl.

C23C 8/22
C21D 1/06
C21D 9/32
C21D 9/40
// C22C 38/00
C22C 38/44

(21)Application number : 06-133501

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD

(22)Date of filing : 16.06.1994

(72)Inventor : MURAI NOBUHIRO

(54) PARTS MADE OF STEEL EXCELLENT IN ROLLING FATIGUE LIFE AND ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the rolling fatigue life of parts by subjecting a steel having a specified compsn. to carburizing treatment and specifying the grain size of original austenitic grains, the content of residual austenite and the volume ratio of precipitated cementitic grains.

CONSTITUTION: A base material steel having a compsn. contg., by weight, 0.05 to 0.4% C, 0.05 to 1.5% Si, 0.3 to 2% Mn, 0.1 to 2% Cr, 0.01 to 0.05% SolAl, 0.0050 to 0.0200% N, 0 to 2.5% Ni, 0 to 1.5% Mo and $\leq 0.003\%$ O as impurities is subjected to carburizing treatment at $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ to less than the eutectic point. The maximum value of the distribution of the carbon conch. in the surface austenitic matrix part on the surface after the treatment is increased to 1.0 to 2%, and it is cooled to $\leq 500^{\circ}\text{C}$ at $10^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ cooling rate. Next, it is reheated to the Ac1 point or above and is hardened to regulate the average grain size of original austenitic grains in the carburizing layer to $\leq 10\mu\text{m}$ and the area ratio of the residual austenite content to $\geq 20\%$, by which precipitated cementitic grains having $\leq 1\mu\text{m}$ diameter is precipitated by 3 to 10% volume ratio.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-3720

(43) 公開日 平成8年(1996)1月9日

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|---------|--------|-----|--------|
| C 2 3 C 8/22 | | | | |
| C 2 1 D 1/06 | A | | | |
| 9/32 | | | | |
| 9/40 | A | | | |
| // C 2 2 C 38/00 | 3 0 1 N | | | |

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-133501

(22) 出願日 平成6年(1994)6月16日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 村井 暢宏

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住

友金属工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 穂上 照忠 (外1名)

(54) 【発明の名称】 転動疲労寿命に優れた鋼製部品とその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 残留オーステナイトの活用により、転動疲労での平均寿命はもちろん、10%破壊寿命も同時に向上させることができる、転動疲労寿命に優れた鋼製部品。

【構成】 母材鋼が重量%で、C: 0.05~0.4、Si: 0.05~1.5、Mn: 0.3~2、Cr: 0.1~2、sol. Al: 0.01~0.05、N: 0.0050~0.0200、Ni: 0~2.5、Mo: 0~1.5を含有し、残部はFeおよび不可避免的不純物からなり、不純物としてのO(酸素)は0.003以下の鋼であり、浸炭処理後の表面部の浸炭層の炭素濃度分布の最大値が1.0~2、浸炭層の旧オーステナイト粒の平均粒径が10μm以下、残留オーステナイト量が面積率で20%以上、さらに直径1μm以下の析出セメンタイト粒が体積比で3%以上10%未満である、転動疲労寿命に優れた鋼製部品。

(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】母材鋼が重量%で、C：0.05～0.4%、Si：0.05～1.5%、Mn：0.3～2%、Cr：0.1～2%、sol.Al：0.01～0.05%、N：0.0050～0.0200%、Ni：0～2.5%およびMo：0～1.5%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物からなり、不純物としてのO（酸素）は0.003%以下の鋼であり、浸炭処理後の表面部の浸炭層の炭素濃度分布の最大値が1.0～2%、浸炭層の旧オーステナイト粒の平均粒径が10 μ m以下、残留オーステナイト量が面積率で20%以上、さらに直径1 μ m以下の析出セメンタイト粒が体積比で3%以上10%未満であることを特徴とする転動疲労寿命に優れた鋼製部品。

【請求項2】重量%で、C：0.05～0.4%、Si：0.05～1.5%、Mn：0.3～2%、Cr：0.1～2%、sol.Al：0.01～0.05%、N：0.0050～0.0200%、Ni：0～2.5%およびMo：0～1.5%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物からなり、不純物としてのO（酸素）は0.003%以下の母材鋼を、1000℃以上、共晶点未満の温度域で浸炭処理後の表面オーステナイト基地部の浸炭層の炭素濃度分布の最大値を1.0～2%に増大させ、次いで10℃/sec以上の冷却速度で少なくとも浸炭層を500℃以下まで冷却した後、Ac₁点以上に再加熱して焼入することにより、浸炭層の旧オーステナイト粒の平均粒径を10 μ m以下、残留オーステナイト量を面積率で20%以上、さらに直径1 μ m以下の析出セメンタイト粒を体積比で3%以上10%未満析出させることを特徴とする転動疲労寿命に優れた鋼製部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は転動疲労寿命に優れた鋼製部品とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】歯車、軸受け等の鋼製部品では高い面圧が繰り返し作用することから、転動疲労が部品の寿命を支配する場合が多い。最近の機械部品の軽量化と長寿命化との要請から、これらの部品の転動疲労寿命向上が必要となっている。

【0003】転動疲労寿命の向上には種々の方策があるが、その一つは残留オーステナイトの活用である。残留オーステナイトは鋼の浸炭焼入時に生成するが、多量に生成させることにより転動疲労寿命の向上効果を得ることができる。例えば、特開平5-59528号公報には、各種合金元素量の調整と浸炭焼入により残留オーステナイト量を上昇させ、転動疲労寿命を向上させることができる歯車用鋼が示されている。

【0004】しかし、残留オーステナイトの活用には次のような点で問題がある。一般に、転動疲労に限らず、疲労寿命は同一ロットの製品であっても、あるバラツキがあるが、残留オーステナイトを増加させた場合、このバラツキが大きくなるのである。すなわち、残留オース

2

テナイトの増加によって、同一ロット内の50%以上が破損する寿命（例えばL₅₀等）は向上するが、10%が破損する寿命（例えばL₁₀）は大きく向上しない。工業的に重要なのは早期破損に至るまでの寿命であり、特に10%破損寿命は軸受部品の定格寿命とされる。

【0005】高温で浸炭する方法を示すものとして、例えば特開昭57-5861号公報がある。

【0006】この方法は950～1150℃で過剰浸炭し、冷却により初析セメンタイトを析出させるとともに焼入れマルテンサイトを生成させることを特徴としており、再加熱焼入は実施しない。この場合、初析セメンタイトは粗大であり、かつオーステナイト粒界に沿って析出するので、1 μ m以下の大きさで微細に析出させることは困難である。粗大セメンタイトは耐摩耗性には効果があるが、転動疲労寿命の向上には悪影響を及ぼす。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記のような問題を解決するためになされたものである。本発明の目的は、残留オーステナイトの活用により、転動疲労での平均寿命はもちろん、10%破壊寿命も同時に向上させることができる、転動疲労寿命に優れた鋼製部品とその製造方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、次の(1)の鋼製部品と(2)のその製造方法にある。

【0009】(1)母材鋼が重量%で、C：0.05～0.4%、Si：0.05～1.5%、Mn：0.3～2%、Cr：0.1～2%、sol.Al：0.01～0.05%、N：0.0050～0.0200%、Ni：0～2.5%およびMo：0～1.5%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物からなり、不純物としてのO

（酸素）は0.003%以下の鋼であり、浸炭処理後の表面部の浸炭層の炭素濃度分布の最大値が1.0～2%、浸炭層の旧オーステナイト粒の平均粒径が10 μ m以下、残留オーステナイト量が面積率で20%以上、更に直径1 μ m以下の析出セメンタイト粒が体積比で3%以上10%未満であることを特徴とする転動疲労寿命に優れた鋼製部品。

【0010】(2)重量%で、C：0.05～0.4%、Si：0.05～1.5%、Mn：0.3～2%、Cr：0.1～2%、sol.Al：0.01～0.05%、N：0.0050～0.0200%、Ni：0～2.5%およびMo：0～1.5%を含有し、残部はFeおよび不可避的不純物からなり、不純物としてのO（酸素）は0.003%以下の母材鋼を1000℃以上、共晶点未満の温度域で浸炭処理後の表面オーステナイト基地部の浸炭層の炭素濃度分布の最大値を1.0～2%に増大させ、次いで10℃/sec以上の冷却速度で少なくとも浸炭層を500℃以下まで冷却した後、Ac₁点以上に再加熱して焼入することにより、浸炭層の旧オーステナイト粒の平均粒径を10 μ m以下、残留オーステナイト量を面積率で20%以上、さらに直径1 μ m以下の析出セメンタイト粒を体積比で3

(3)

3

%以上10%未満析出させることを特徴とする転動疲労寿命に優れた鋼製部品の製造方法。

【0011】上記鋼ではいずれも、NiおよびMoは共に無添加でもよい。これらを積極的に添加する場合の下限は、Niで0.5%、Moで0.1%とするのが望ましい。

【0012】本発明者らは、浸炭焼入により残留オーステナイトを多量に生成させた鋼を用い、転動疲労での早期破壊について調査した結果、次の①～③のような新知見を得た。

【0013】①浸炭鋼の表面の組織はマルテンサイトと残留オーステナイトとを主体とするが、残留オーステナイトの増加には浸炭雰囲気等を調整して表面のC濃度を上昇させることが不可欠である。C濃度の上昇とともに残留オーステナイトは飛躍的に増加するが、一方のマルテンサイトは粗大なプレート状となる。転動疲労での早期剥離の原因は、このような粗大プレート状マルテンサイトである。

【0014】②粗大プレート状マルテンサイトは、旧オーステナイト粒の細粒化により微細化される。微細化されたマルテンサイトが存在していると転動疲労の早期剥離が緩和され、残留オーステナイトによる寿命向上作用が発揮される。

【0015】転動疲労寿命の向上には残留オーステナイトの活用が有効であるが、更に早期破壊を改善するには、粗大プレート状マルテンサイトの微細化が有効であり、そのためには旧オーステナイト粒の微細化が必要である。残留オーステナイトの増加と旧オーステナイト粒の微細化を同時に満足させる方法を模索し、次の事実が明らかになった。

【0016】③鋼の高温での炭素固溶量の増大を利用して、浸炭により高炭素のオーステナイトを生成させる。この時、過剰浸炭によるセメンタイトは析出させない。次にこれを冷却時の初析セメンタイト析出を阻止しつつ冷却し、炭素過飽和組織（マルテンサイトあるいはベイナイトもしくはそれらの混合組織）を生成させる。この組織を再加熱焼入れすることにより極めて微細でかつ均一なセメンタイトが分散する結果、オーステナイト粒は成長が抑制され、微細化する。また、再加熱温度の調整により残留オーステナイトの増加が可能となる。これらの効果を十分発揮させるためには、固溶炭素量を増加させることが重要であり、少なくとも重量比で1.0%以上が必要である。

【0017】上記の新知見により、通常よりも高温で過剰浸炭によるセメンタイト析出を阻止しつつ浸炭し、オーステナイト域での初析セメンタイト析出を阻止しつつ冷却し、過飽和組織を表面に形成する。そして、次に再加熱により過飽和組織から微細なセメンタイトを析出させてオーステナイト粒を微細化し、焼入により残留オーステナイトと微細化されたマルテンサイトを得ることに
50

4

時に向上させるという考えで、本発明を完成させた。

【0018】

【作用】まず、本発明の鋼（母材）の化学組成を前記のように限定した理由について説明する。%は重量%を意味する。

【0019】(1) C : 0.05~0.4%

Cには母材の強度を向上させる作用と母材の靱性を低下させる作用とがある。

【0020】C含有量が0.05%未満であると、機械部品としての強度が不足するので、下限は0.05%とした。一方、0.4%を超えると母材の靱性が大幅に低下するので、上限は0.4%とした。望ましい範囲は0.10~0.30%である。

【0021】(2) Si : 0.05~1.5%

Siは鋼の溶製時に脱酸剤として使用されるので、少なくとも0.05%は含有される。Siはマルテンサイトに固溶して転動疲労寿命を向上する作用もあるが、1.5%を超えると母材の被削性、加工性が劣化するので上限は1.5%とした。

【0022】(3) Mn : 0.3~2%

Mnには鋼の焼入性を向上させる作用がある。また、残留オーステナイトを増加させる作用もある。焼入性の確保のため0.3%以上が必要である。一方、2%を超えると母材の被削性、加工性が劣化するので上限は2%とした。

【0023】(4) Cr : 0.1~2%

Crには鋼の焼入性を向上させる作用がある。また、再加熱によって生成する炭化物を増加させ結晶粒を微細化させる作用がある。これらの効果を得るには最低0.1%のCr含有量が必要である。一方、逆に残留オーステナイトを減少させる作用もあり、2%を超えると残留オーステナイト量の確保が困難となるので、上限は2%とした。

【0024】(5) sol. Al : 0.01~0.05%およびN : 0.0050~0.0200%

Alは窒素と結合してAlNを生成し、オーステナイト域での結晶粒粗大化を抑制する作用がある。本発明では微細炭化物の析出により再加熱焼入後の結晶粒の微細化をはかるが、この効果を補助する目的で添加する。この効果を得るためにはsol. Alで0.01%以上が必要である。

【0025】Nは不可避免的に含まれてくるが、AlNを生成させて上記の効果を得るには0.0050%以上とする必要がある。

【0026】いずれも、過剰に添加すると熱間加工性等に悪影響を及ぼすので、上限は各々0.05%、0.0200%とした。

【0027】(6) O（酸素） : 0.003%以下

Oは酸化物系介在物となる不純物であり、その含有量が0.003%を超えると転動疲労寿命を低下させる作用がある。よって、その上限は0.003%としたが、望ましいのは0.0015%以下である。

(4)

5

【0028】本発明の母材鋼では、上記の各成分のほか
に次のNiおよびMoの1種または2種を含有させてもよ
い。

【0029】(7)Ni：上限2.5%およびMo：上限1.5%
これらには、母材および硬化層の基地の靱性向上、焼入
性上昇の作用があるので、目的に応じて添加する。積極
的に添加する場合の下限は、Niで0.5%、Moで0.1%と
するのが望ましい。しかし、Niが2.5%、Moが1.5%を
それぞれ超えると母材の被削性が劣化するので、上限は
Niで2.5%、Moで1.5%とした。望ましい上限はNiで2
10 %、Moで1%である。

【0030】次に、本発明の製品鋼の組織を前記のよう
に限定した理由について説明する。

【0031】(1) 残留オーステナイトの量：面積率で20
%以上

残留オーステナイトには転動疲労寿命を向上させる作用
がある。この作用を発揮するには面積率で20%以上が必要
であるので、下限は20%とした。望ましい上限は50%
である。

【0032】(2) 旧オーステナイトの平均粒径：10 μ m
以下

旧オーステナイト粒径を細かくし、かつ20%以上の残留
オーステナイトを確保することにより、転動疲労の平均
寿命はもちろん、早期破損、すなわち L_{10} が向上する。
このとき、旧オーステナイトの平均粒径が10 μ m 以下で
ないと、この効果が十分に発揮されないの上限を10 μ
m とした。この平均粒径は細かいほど望ましい。

【0033】(3) セメンタイトの量と大きさ：直径1 μ m
以下及び体積比で3%以上10%未満

セメンタイトは再加熱時にオーステナイト粒の成長を抑
制し、細粒化させる作用と部品の耐摩耗性を向上する作
用がある。残留オーステナイトを増加させるには、再加
熱により炭化物をできるだけ溶かすことが望ましいが、
セメンタイト量を体積比で3%未満にしてしまうと細粒
化の効果がなくなり、耐摩耗性の向上もなくなる。よっ
て、下限は3%とした。また、セメンタイトが体積比で
10%以上残ると残留オーステナイトの生成が困難となる
ので、上限は10%未満とした。

【0034】セメンタイトの大きさは、細かいほど細粒
化効果が大きく、硬化層の靱性の点からも細かくする必
40 要がある。直径1 μ m を超えると、これらの効果が不足
するため、上限は1 μ m とした。

【0035】次に本発明の製造方法（工程と条件）の限
定理由を述べる。

【0036】本発明方法は、前記の組成の母材鋼を、次
の①～③の工程と条件にしたがって処理し、その組織を
上記とするものである。

【0037】①1000℃以上共晶点未満の温度域で浸炭処
理し、処理後の表面オーステナイト基地部の浸炭層の炭
素濃度分布の最大値を1.0～2%に増大させる。

6

【0038】②次いで10℃/sec以上の冷却速度で、少な
くとも浸炭層を500℃以下まで冷却する。

【0039】③次いでAc₁点以上に再加熱して焼入す
る。

【0040】(1) 浸炭処理温度：1000℃以上、共晶点未
満

浸炭処理温度の上昇は鋼表面での固溶炭素量を増加させ
る作用がある。浸炭により濃縮された表面部の炭素は再
加熱により、一部がセメンタイトを形成し、残りは基地
中に固溶する。セメンタイトはオーステナイト微細化
に、固溶炭素は残留オーステナイト形成に、それぞれ必
須であるので、両者を満足する固溶炭素を確保する必要
がある。このため、浸炭温度の下限は、十分な炭素量を
確保することができる1000℃とした。

【0041】一方、浸炭処理温度は鋼の共晶点以上であ
ってはならない。この理由は次のとおりである。

【0042】一般に浸炭処理は浸炭期と拡散期に分けら
れ、浸炭期では表面部のC濃度を上昇させ、拡散期でそ
れを内部に拡散させ所定の浸炭深さを得る。本発明でい
う「浸炭」とは、浸炭期と拡散期の両方を含む。

【0043】浸炭期では、炭素濃度がオーステナイト基
地の炭素固溶限に対し過剰になる場合がある。この場
合、通常の処理温度であるとセメンタイト析出が起こ
り、これは拡散によって消失させることが可能である。
しかし、処理温度が高くなると炭素濃度過剰部は液化
し、母材に形状変化が発生する。このような液化は鋼の
共晶点以上の温度域で発生する。

【0044】この共晶点はFe-Fe₃C系では約1150℃であ
り、合金元素の添加により若干の変化がある。浸炭時間
短縮の観点から、浸炭処理は共晶点直下の温度で行うの
が理想であるが、量産時のばらつきを考慮すると、望ま
しい上限温度は共晶点-30℃程度である。

【0045】高温浸炭の利点は固溶炭素量の増加のほ
か、浸炭時間の短縮である。上記下限温度（1000℃）で
処理しても、通常浸炭（925～950℃）と比較して50%以
上の時間短縮が可能となる。

【0046】(2) 表面炭素濃度

表面の炭素には、再加熱でのセメンタイト析出を多量に
細かく均一分散させてオーステナイト粒を細かくする作
用と、オーステナイトに固溶して再加熱焼入後の残留オ
ーステナイトを増加させる作用とがある。両方の作用を
十分に発揮させるため、浸炭処理後の表面の炭素濃度分
布の最大値は最低限1.0%であることが必要である。

【0047】一方、浸炭の際、表面の炭素濃度分布の最
大値がオーステナイト固溶限に対し過剰になると、セメ
ンタイトが析出する。浸炭時にオーステナイトから析出
するセメンタイトは粗大であり、比較的微細化が可能な
低温域浸炭でも2～3 μ m 程度のものが生成し、なおかつ
オーステナイト粒界に生成する場合もあり、硬化層の
50 靱性を劣化させる。

(5)

7

【0048】本発明の前提となるのは、このようなオーステナイト浸炭時の粗大セメンタイトを皆無にすることである。このためには浸炭中に雰囲気制御を行うか、拡散期に炭化物を溶かすことにより、浸炭処理後の表面の炭素濃度分布の最大値を2%以下とする必要がある。

【0049】浸炭処理に用いる浸炭炉として、現在工業的にはガス浸炭炉が普及しているがこの炉の問題点は雰囲気酸素ポテンシャルが高いことである。酸素ポテンシャルが高いと合金元素が優先酸化され、鋼の特に表面での浸炭性が変化する。本発明方法では、浸炭処理時のセメンタイトの析出を阻止するために雰囲気制御が必要であることから、ガス浸炭炉における処理中の合金元素の優先酸化やこれによる鋼表面の浸炭性の変化は、望ましい浸炭の制御を困難にする。

【0050】浸炭炉としては、雰囲気酸素ポテンシャルを極めて低くコントロールすることができるタイプの炉、例えばプラズマ浸炭炉などが適する。

【0051】(3) 冷却

浸炭処理時の雰囲気制御か、またはこの制御と拡散期でのCの母材中心部への溶解により、浸炭終了時点では粗大セメンタイトは存在しない。この状態を維持するために、冷却過程においてもオーステナイト域での初析セメンタイトの析出を阻止しなければならない。冷却過程で析出するセメンタイトもオーステナイト域での析出であれば粗大となり、浸炭中に析出するセメンタイトと同様に硬化層の靱性を劣化させる。

【0052】よって、冷却時の初析セメンタイト生成阻止のため、少なくとも浸炭層を冷却速度10℃/sec以上で冷却する必要がある。望ましい上限は100℃/secである。

【0053】本発明の目標の一つは微細セメンタイトの均一析出である。微細セメンタイトは再加熱焼入れにより得ることができるが、そのためには、上記冷却時において炭素過飽和組織を形成させておく必要がある。炭素過飽和組織とは具体的にはマルテンサイトまたはベイナイト、もしくはそれらの混合組織である。これらの組織の形成のため、少なくとも浸炭層が500℃以下になるまで上記速度条件で冷却しなければならないのである。

【0054】上記冷却条件は少なくとも浸炭層について満たされればよく、製品鋼全体としては特に制約はな

8

い。ただし、熱処理歪みを考慮に入れると、母材部の冷却速度はなるべく遅くする方が望ましい。

【0055】(4) 再加熱

高温浸炭を行っているため、冷却後の組織は浸炭層、母材ともに元の母材よりも粗粒化しており、靱性が低下している。従って、このままの状態では機械部品として使用することができない。

【0056】再加熱は、粗粒化した浸炭層と母材の組織を、過飽和状態の組織から微細なセメンタイトを析出させることにより、細粒化する作用がある。また、析出セメンタイトを結晶粒微細化作用が有効である範囲で溶解させ、焼入れ後の残留オーステナイトを生成させる作用もある。

【0057】これらの両方の作用を満足させるために、再加熱温度と加熱時間のバランスを考慮する必要がある。このバランスは、合金元素の種類、量と浸炭後の表面炭素濃度によって変わるので特に限定しないが、残留オーステナイト量を考慮すると再加熱温度はAc₁点以上にする必要がある。望ましい上限は950℃である。

【0058】(5) 焼入

マルテンサイトまたは／およびベイナイトと残留オーステナイトを生成させるために焼入処理を行う。本発明の狙いである微細マルテンサイトと残留オーステナイトとを主体とした前述の組織にすることができる方法であれば、焼入れはどのような方法でもよい。

【0059】

【実施例】

(試験1) 表1に示すA1鋼を熱間鍛造、焼準し、直径φ70mmの素形材を製作した。次に直径φ10mm×長さ100mmの試験片を素形材から切り出し、表2に示す条件で浸炭処理-熱処理を実施した。

【0060】浸炭炉はいずれもプラズマ浸炭炉を用い、雰囲気ガスにはプロパンおよび水素を使用した。

【0061】上記処理後、表面炭素量、旧オーステナイト(γ)粒径、炭化物(セメンタイト)粒径、炭化物(セメンタイト)量及び残留オーステナイト(γ)量を測定した。これらの結果を表2に併せて示す。

【0062】

【表1】

40

(6)

9

10

表 1

| 区分 | 鋼 | 化 学 組 成 (wt%, bal. : Feおよび不純物) | | | | | | | | |
|------------------|------|--------------------------------|------|------|------|------|------|---------|--------|--------|
| | | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | sol. Al | N | O |
| 本 発 明 例 | A-1 | 0.21 | 0.07 | 1.23 | 0.01 | 1.48 | 0.01 | 0.021 | 0.0121 | 0.0015 |
| | A-2 | 0.23 | 1.48 | 1.22 | 0.01 | 1.11 | 0.01 | 0.028 | 0.0111 | 0.0009 |
| | A-3 | 0.22 | 0.78 | 0.31 | 0.01 | 1.98 | 0.01 | 0.035 | 0.0044 | 0.0011 |
| | A-4 | 0.39 | 0.35 | 1.95 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.048 | 0.0191 | 0.0009 |
| | A-5 | 0.07 | 0.15 | 1.98 | 0.01 | 1.75 | 0.01 | 0.048 | 0.0125 | 0.0028 |
| | A-6 | 0.18 | 0.25 | 0.88 | 2.48 | 1.36 | 0.01 | 0.012 | 0.0122 | 0.0011 |
| | A-7 | 0.23 | 0.22 | 0.88 | 0.00 | 0.12 | 1.48 | 0.023 | 0.0102 | 0.0013 |
| | A-8 | 0.19 | 0.23 | 0.89 | 2.22 | 1.33 | 0.25 | 0.011 | 0.0044 | 0.0025 |
| 従 来 例 | A-9 | 0.21 | 0.05 | 1.55 | 1.55 | 1.48 | 0.81 | 0.033 | 0.0110 | 0.0011 |
| | A-10 | 0.20 | 0.08 | 1.55 | 0.01 | 1.55 | 0.80 | 0.025 | 0.0120 | 0.0011 |

【0063】

* * 【表2】

表 2

| 区分 | 鋼 | 浸炭条件 (プラズマ浸炭) | | | 焼入条件 | | 表面炭素量 (wt%) | 旧粒径 (μm) | 炭化物粒径 (μm) | 炭化物 (残留) (vol%) |
|------------------|-------|---------------|-----------|-----------|-----------|----|-------------|----------|------------|-----------------|
| | | 温度 (°C) | 時間 (min) | 冷却 (°C/s) | 加熱温度 (°C) | 焼入 | | | | |
| 本 発 明 例 | A1-1 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.7 | 8 | 0.6 | 8(31) |
| | A1-2 | 1000 | 60(45+15) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.6 | 6 | 0.5 | 9(31) |
| | A1-3 | 1130 | 40(30+10) | 20 (室温) | 900 | OQ | 1.6 | 7 | 0.6 | 6(28) |
| | A1-4 | 1130 | 40(30+10) | 15 (室温) | 900 | OQ | 1.4 | 7 | 0.9 | 7(26) |
| | A1-5 | 1130 | 40(30+10) | 20 (480) | 900 | OQ | 1.8 | 5 | 0.4 | 6(31) |
| | A1-6 | 1130 | 40(30+10) | 20 (230) | 900 | OQ | 1.6 | 6 | 0.7 | 5(33) |
| 比 較 例 | A1-7 | 1200 | 40(30+10) | OQ | 900 | OQ | 2.3 | 5 | × | 21(21) |
| | A1-8 | 1130 | 40(40+0) | OQ | 900 | OQ | 3.5 | 4 | >10 | 33(30) |
| | A1-9 | 1130 | 40(30+10) | 5 (室温) | 900 | OQ | 1.6 | 8 | >10 | 25(12) |
| | A1-10 | 1130 | 40(30+10) | 20 (600) | 900 | OQ | 1.8 | 8 | >10 | 18(10) |
| | A1-11 | 1130 | 40(20+20) | OQ | 900 | OQ | 0.9 | 9 | 0.6 | 6(11) |
| 従 来 例 | A1-12 | 1130 | 40(40+0) | OQ | — | — | 3.6 | 110 | >10 | 34(32) |

(注) 浸炭時間: () 内の左は浸炭時間、右は拡散時間

冷却: 数字は冷却速度(°C/s)、()内は冷却剤の温度(°C)

OQ: オイルクエンチ

×: 表面の溶融、>10: 10 μm 以上の棒状セメンタイト析出

【0064】表2からわかるように、本発明で定める条件を満たして製造することにより、旧オーステナイト粒の平均粒径が10 μm 以下、残留オーステナイト量が面積率で20%以上、さらに直径1 μm 以下のセメンタイト粒を体積比で10%未満析出させた組織を表面部に得ることができる。

【0065】比較例A1-7鋼では、共晶点以上で浸炭したため硬化層に溶融部が観察された。

【0066】比較例A1-8鋼、A1-9鋼、A1-10 鋼では、浸炭中、あるいは浸炭後の冷却中にオーステナイト+セメ

ンタイト2相域を通過して、粗大なセメンタイトが析出するため、セメンタイト粒径が大きい。A1-11 鋼では表面炭素量の不足のため、残留オーステナイト量が少ない。また、従来例では浸炭中にオーステナイト域で粗大セメンタイトが析出し、再加熱焼入を実施しないので旧オーステナイト粒が粗大化している。

【0067】(試験2)表1に示すA1~A10 鋼を熱間鍛造、焼準し、直径φ70mmの素形材を製作した。

【0068】またA9~A10鋼についても同様に直径φ70 mmの素形材を製作した。次に直径φ10mm×長さ100 mmの

(7)

11

試験片を素形材から切り出し、表3に示す条件で浸炭処理－熱処理を実施した。

【0069】浸炭炉と雰囲気ガスは試験1と同じとした。ただし、従来例ではガス浸炭炉を用い、雰囲気はカーボンポテンシャルを0.8%とした。

12

*【0070】この後、試験1と同じ測定を行った。結果を表3に併せて示す。

【0071】

【表3】

*
表 3

| 区分 | 鋼 | 浸炭条件 | | | 焼入条件 | | 表面炭素量 (wt%) | 旧粒径 (μm) | 炭化物粒径 (μm) | 炭化物(残留 γ) (vol%) |
|------|------|------------------------------|-------------|---------------------------------------|--------------------------------|----|----------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | 温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 時間 (min) | 冷却 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) | 加熱温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 焼入 | | | | |
| 本発明例 | A1-1 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.7 | 6 | 0.6 | 8(31) |
| | A2 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.7 | 7 | 0.6 | 8(31) |
| | A3 | 1130 | 40(25+15) | OQ (180) | 930 | OQ | 1.6 | 6 | 0.5 | 9(25) |
| | A4 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 880 | OQ | 1.5 | 6 | 0.9 | 7(30) |
| | A5 | 1130 | 40(25+10) | OQ (180) | 930 | OQ | 1.6 | 5 | 0.4 | 5(25) |
| | A6 | 1100 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.7 | 8 | 0.5 | 4(48) |
| | A7 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 920 | OQ | 1.8 | 7 | 0.8 | 8(44) |
| | A8 | 1050 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.6 | 6 | 0.9 | 5(41) |
| 従来例 | A9 | 900 | 600 | OQ (50) | — | — | 1.1 | 16 | — | 0(45) |
| | A10 | 900 | 600 | OQ (50) | — | — | 1.0 | 15 | — | 0(40) |

(注) 本発明例、比較例ではプラズマ浸炭炉を使用。従来例ではガス浸炭炉を使用し、カーボンポテンシャルを0.8%として処理
 浸炭時間：() 内の左は浸炭時間、右は拡散時間
 冷却：数字は冷却速度($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)、() 内は冷却剤の温度($^{\circ}\text{C}$)
 OQ：オイルクエンチ

【0072】表3からわかるように、本発明で定める条件を満たして製造することにより、旧オーステナイト粒の平均粒径が $10\mu\text{m}$ 以下、残留オーステナイト量が面積率で20%以上、さらに直径 $1\mu\text{m}$ 以下のセメンタイト粒を体積比で10%未満析出させた組織を表面部に得ることができる。従来例では長時間の浸炭処理が必要であり、得られる粒径も大きい。また、本発明例ではセメンタイトが生成しており、従来例に比べ部品の耐摩耗性も向上するものと考えられる。

【0073】(試験3)表1に示すA1～A10鋼の直径 $\phi 70\text{mm}$ 素形材から、機械加工により直径 $\phi 60\text{mm}$ ×長さ 6mm の試験片を製作し、表4に示す条件で浸炭処理－熱処理

を行った後、 170°C で2時間の焼き戻しを施した。

【0074】浸炭炉と雰囲気ガスは試験1と同じとした。ただし、従来例ではガス浸炭炉を用い、雰囲気はカーボンポテンシャルを0.8%とした。

【0075】次に、表面研磨することにより試験片の表面を $3.5\mu\text{m Rz}$ とし、スラスト転動疲労試験を実施した。転動疲労試験条件は、最大面圧を $560\text{kgf}/\text{mm}^2$ 、主軸回転数を 1800rpm とし、潤滑油にはスピンドル油を使用した。試験結果を表4に併せて示す。

【0076】

【表4】

(8)

13

14

表 4

| 区分 | 鋼 | 浸 炭 条 件 | | | 焼入条件 | | L ₁₀ | L ₅₀ |
|------------------|------|-------------|--------------|---------------|-------------------|----|-----------------------|-----------------------|
| | | 温 度 (°C) | 時 間 (min) | 冷 却 (°C/s) | 加 熱 温度 (°C) | 焼入 | | |
| 本 発 明 例 | Al-1 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 6.5 × 10 ⁶ | 1.1 × 10 ⁷ |
| | A2 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 6.8 × 10 ⁶ | 1.0 × 10 ⁷ |
| | A3 | 1130 | 40(25+15) | OQ (180) | 930 | OQ | 6.3 × 10 ⁶ | 9.6 × 10 ⁶ |
| | A4 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 880 | OQ | 7.1 × 10 ⁶ | 1.6 × 10 ⁷ |
| | A5 | 1130 | 40(25+10) | OQ (180) | 930 | OQ | 6.2 × 10 ⁶ | 1.0 × 10 ⁷ |
| | A6 | 1100 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.0 × 10 ⁷ | 1.9 × 10 ⁷ |
| | A7 | 1130 | 40(30+10) | OQ (180) | 920 | OQ | 1.2 × 10 ⁷ | 2.2 × 10 ⁷ |
| | A8 | 1050 | 40(30+10) | OQ (180) | 900 | OQ | 1.0 × 10 ⁷ | 1.8 × 10 ⁷ |
| 従 来 例 | A9 | 900 | 600 | OQ (50) | — | — | 5.9 × 10 ⁶ | 1.6 × 10 ⁷ |
| | A10 | 900 | 600 | OQ (50) | — | — | 6.1 × 10 ⁶ | 1.8 × 10 ⁷ |

(注) 本発明例、比較例ではプラズマ浸炭炉を使用。従来例ではガス浸炭炉を使用し、
 カーボンポテンシャルを0.8%として処理
 浸炭時間：() 内の左は浸炭時間、右は拡散時間
 冷却：数字は冷却速度(°C/s)、() 内は冷却剤の温度(°C)
 OQ：オイルクエンチ

【0077】表3および表4に示すように、平均寿命は残留オーステナイトの量によって決まるが、10%早期破損(L₁₀)は旧オーステナイトの微細化により向上する。

【0078】

【発明の効果】本発明によれば、過剰浸炭によるセメント析出を阻止しつつ浸炭し、オーステナイト域での初析セメント析出を阻止しつつ冷却し、過飽和組織

を表面に形成し、次に再加熱により過飽和組織から微細なセメントを析出させてオーステナイト粒を微細化し、焼入により残留オーステナイトと微細化されたマルテンサイトを得ることにより、転動疲労での平均寿命と10%破壊寿命の向上を同時に達成することができる。本発明は、歯車、軸受部品などの鋼製部品に好適なものである。

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 2 2 C 38/44